



DE 197 00 290 A 1

(19) **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

(12) **Offenlegungsschrift**
(10) **DE 197 00 290 A 1**

(5) Int. Cl.⁶:
H 01 L 49/00
// G01P 15/08

(21) Aktenzeichen: 197 00 290.0
(22) Anmeldetag: 3. 1. 97
(43) Offenlegungstag: 16. 7. 98

(71) Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:
Müller, Karlheinz, 84478 Waldkraiburg, DE; Kolb,
Stefan, 85716 Unterschleißheim, DE

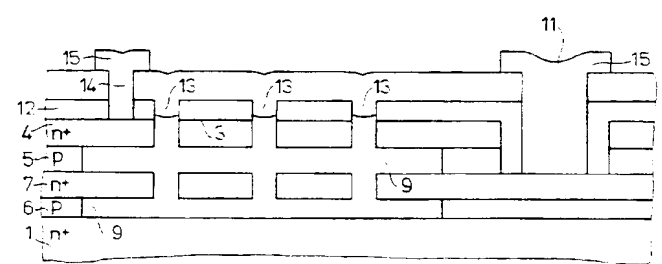
(56) Entgegenhaltungen:
DE 43 09 206 C1
DE 1 95 36 250 A1
DE 1 95 36 228 A1
MENZ, BLEY: Mikrosystemtechnik für Ingenieure,
VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim 1993,
S. 180-183;
HEUBERGER: Mikromechanik, Springer-Verlag,
Berlin,
Heidelberg 1989, S. 349-355;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Mikromechanische Halbleiteranordnung und Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Halbleiteranordnung

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine mikromechanische Halbleiteranordnung mit einer innerhalb eines Hohlraums (9) ausgebildeten Membran (7). Die Membran (7) ist durch eine kristalline Schicht innerhalb des Substrates (1) oder innerhalb einer auf einem Substrat (1) angeordneten epitaktischen Schichtenfolge der Halbleiteranordnung ausgebildet. Die Membran (7) ist am Randbereich an einem Auflager (6) aufgelegt, und mit einer auf einem Gegenlager (5) abgestützten Deckschicht (4) überdeckt. Das Auflager (6) und das Gegenlager (5) einerseits und die Membran (7) andererseits sind aus Materialien mit unterschiedlichen Ätzraten gegenüber einem vorbestimmten H_2SO_4 -chemischen Ätzmittel gefertigt und bestehen vorzugsweise aus unterschiedlich dotierten Materialien.



DE 197 00 290 A 1

Die Erfindung betrifft eine mikromechanische Halbleiteranordnung mit einer innerhalb eines Hohlraums ausgebildeten dünnen Membran, sowie ein Verfahren zur Herstellung einer derartigen mikromechanischen Halbleiteranordnung.

Eine solche mikromechanische Halbleiteranordnung wird beispielsweise in der Form eines Halbleiterbeschleunigungssensors zur Messung von Beschleunigungen eingesetzt. Die Membran dient dabei zusammen mit Gegenelektroden als Kondensator, wobei Kapazitätsänderungen als Meßgröße ausgewertet werden. Üblicherweise sind die bisher bekannten Membranen über Federn im Sensor verankert. Die Prozeßabläufe bei der Herstellung der Membran führen jedoch zu Streß, insbesondere mechanischem Streß in der Membran. Bei einer nicht vollständigen Relaxierung durch die Federn kann sich die Membran dadurch dauerhaft verbiegen. Weiterhin können die in den Federn aufgenommenen Kräfte zu einem Fehlverhalten der Membran während des Betriebs führen. Zum Schutz und zur mechanischen Stabilisierung dieser Sensoren werden obere Verschlussplatten, die in der Regel aus einer Polysiliziumschicht bestehen, mit Hilfe von z. B. Nitridstützen abgestützt. Ebenso können die Verschlussplatten aus einer Metallisierung gebildet und mit Metallisierungsstützen abgestützt werden. In jedem Falle sind zur Ausbildung des Sensors Zusatzschichten erforderlich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine mikromechanische Halbleiteranordnung der eingangs genannten Art zur Verfügung zu stellen, die einfacher und damit kostengünstiger hergestellt werden kann, und gleichzeitig ein Zugewinn an mechanischen und physikalischen Eigenschaften erreicht wird.

Außerdem soll ein Verfahren zur Herstellung einer solchen mikromechanischen Halbleiteranordnung geschaffen werden.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt vorrichtungsmäßig mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1, verfahrensmäßig mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 8.

Nach einem wesentlichen Gedanken der Erfindung ist die Membran durch eine kristalline Schicht innerhalb des Substrates oder innerhalb einer auf einem Substrat angeordneten epitaktischen Schichtenfolge der Halbleiteranordnung ausgebildet. Zur Herstellung der mikromechanischen Halbleiteranordnung werden somit keine von den in der Halbleiterfertigung üblichen Schichten abweichenden Schichten verwendet; vielmehr kann der bei üblichen Halbleiter-Bauelementen verwendete Standardprozeß auch für die Herstellung einer Membran in einem Hohlraum in der mikromechanischen Halbleiteranordnung übernommen werden, wobei lediglich geringfügige Prozess-Schritte eingefügt bzw. ergänzt werden müssen. Von Vorteil wird die gesamte mikromechanische Halbleiteranordnung aus nur einem zusammenhängenden kristallinen Halbleiter-Grundmaterial hergestellt, welches entweder das eigentliche Substrat oder eine auf einem Substrat angeordnete epitaktische Schichtenfolge darstellt. Dem Prinzip der Erfindung folgend ist die Membran insbesondere aus einer monokristallinen Silizium-Schicht gebildet. Die wesentlichen Vorteile liegen neben den günstigen Herstellungskosten vor allem bei der Verwendung einer annähernd streßfreien einkristallinen Schicht für die Membran und damit in einem Zugewinn der mechanischen und sonstigen physikalischen Eigenschaften.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Membran am Randbereich an einem Auflager aufgelegt, und mit einer auf einem Gegenlager abgestützten Deckschicht überdeckt. Gegenlager und Deckschicht wirken hierbei auch als seitli-

che und obere Bewegungsbegrenzungen, die in der Weise bezüglich des Randes der Membran angeordnet sind, daß Ausgleichsbewegungen der Membran von mechanischem Streß möglich sind.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das Auflager, die Membran, das Gegenlager, und die Deckschicht in dieser Reihenfolge jeweils durch eine kristalline Schicht innerhalb des Substrates oder innerhalb einer auf dem Substrat angeordneten epitaktischen Schichtenfolge hergestellt, wobei im Substrat bzw. der epitaktischen Schichtenfolge ein Dotierungsprofil dergestalt eingestellt wird, daß wenigstens das Auflager und das Gegenlager einerseits und die Membran andererseits so weit unterschiedlich dotiert sind, daß vermittels einer geeigneten selektiven Ätzlösung zur Fertigung eines Hohlraums die die Membran umgebenden Schichten bereichsweise naß-chemisch geätzt werden können. Die Einstellung des Dotierungsprofils kann entweder nachträglich über eine oder mehrere durchzuführende Hochenergieimplantationsschritte, oder bereits bei der Abscheidung von unterschiedlich dotierten Epitaxieschichten erreicht werden. Bei einer bevorzugten Ausführungsform werden die aufeinanderfolgenden Schichten des Substrates bzw. der epitaktischen Schichtenfolge abwechselnd hoch und niedrig dotiert. In Abhängigkeit der zum Einsatz gelangenden Ätzlösung können demnach entweder die hoch dotierten Gebiete beispielsweise vermittels einer $\text{HF-HNO}_3\text{-CH}_3\text{COOH}$ -Ätzlösung oder die niedrig dotierten Gebiete beispielsweise vermittels einer KOH-Ätzlösung nach einem naß-chemischen Freizätzverfahren entfernt werden. Hierbei wird die Selektivität bei der entsprechenden naß-chemischen Ätzung zwischen hoch dotierten Schichten und niedrig dotierten Schichten ausgenutzt, wobei Selektivitäten von mehr als etwa 50 : 1 erzielt werden können.

Darüber hinaus können die aufeinanderfolgenden Gebiete im Substrat bzw. in der epitaktischen Schichtenfolge aufeinanderfolgend in der Dotierung zwischen einer p-Dotierung und einer n-Dotierung wechseln, was darüber hinaus den Vorteil der elektrischen Trennung der aufeinanderfolgenden Schichten bietet.

In der die Auflagerschicht zunächst überdeckenden Membran werden günstigerweise Ätzlöcher vorgesehen, die ein Eindringen der Ätzlösung in die darunter liegende Schicht ermöglichen. Zu dem gleichen Zweck kann auch die Deckschicht mit entsprechenden Ätzlöchern versehen sein, wobei letztere zur Ausbildung eines vollständig abgeschlossenen Hohlraums in einem späteren Verfahrensschritt wieder verschlossen werden, vorzugsweise vermittels einer fließfähigen Glasschicht wie BPSG oder dergleichen.

Die mikromechanische Halbleiteranordnung kann mit Erfolg in allen Bereichen zum Einsatz gelangen, wo mikromechanische Strukturen mit Membranen in Hohlräumen benötigt werden. Insbesondere kann die mikromechanische Halbleiteranordnung gemäß Erfindung als Halbleiter-Beschleunigungssensor oder als Halbleiter-Mikropumpe verwendet werden.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels weiter erläutert. Im Einzelnen zeigen die schematischen Darstellungen in:

Fig. 1 einen schematischen Querschnitt durch die auf einem Substrat angeordnete epitaktische Schichtenfolge und zugehörigem Dotierungsprofil;

Fig. 2 eine schematische Schnittansicht einer mikromechanischen Halbleiteranordnung gegen Ende des Herstellungsverfahrens;

Fig. 3 eine schematische Draufsicht der mikromechanischen Halbleiteranordnung; und

Fig. 4 einen schematischen Querschnitt durch die auf einem Substrat angeordnete epitaktische Schichtenfolge und zugehörigem Dotierungsprofil gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Anhand der schematischen Ansichten nach den **Fig. 1** bis **3** wird im Folgenden die Herstellung einer mikromechanischen Halbleiteranordnung nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung erläutert. Dabei wird zunächst in einem monokristallinen Halbleitersubstrat **1** aus vorzugsweise Silizium ein Dotierungsprofil **2** über eine entsprechende Anzahl durchzuführender Hochenergieimplantationsschritte erzeugt. Ausgehend von der Schichtoberfläche **3** des Halbleitersubstrats **1** wird ein Bereich **4** für die Ausbildung einer späteren Deckschicht n^+ -dotiert. Bereiche **5** bzw. **6** zur späteren Ausbildung einer Auflager- bzw. Gegenlagerschicht werden p -dotiert, eine Membranschicht **7** mit einer Gesamtstärke **d** wird n^+ -dotiert, und ebenso eine verbleibender Bereich **8** des Halbleitersubstrats **1**. Zweckmäßigerweise wird hierbei ausgehend von einem n^+ -dotierten Halbleitergrundkörper **8** in lediglich zwei durchzuführenden Implantationsschritten der Bereich **5** und der Bereich **6** p -dotiert. Ein Dotierungsschritt beinhaltet hierbei auch eine nachfolgende Hochtemperaturbehandlung zur Rekristallisation des dotierten Bereiches und Aktivierung der Dotierstoffe. Bei einer alternativen Herstellung der in **Fig. 1** dargestellten Schichtenfolge können ausgehend von einem n^+ -dotierten monokristallinen Halbleitergrundkörper **8** die weiteren Schichten **6**, **7**, **5** und **4** epitaktisch in der gewünschten Dotierung aufgebracht werden. In beiden Fällen ergibt sich eine monokristalline Schichtenfolge mit dem in **Fig. 1** dargestellten Dotierungsprofil, aus welcher in einem späteren Verfahrensschritt durch naß-chemisches Ätzen die innerhalb eines Hohlraums **9** angeordnete dünne Membran **7** gefertigt wird.

Gemäß **Fig. 2** wird daran anschließend an Stellen, an denen später Kontaktanschlüsse für die elektrische Ankopplung der Membran **7** erzeugt werden sollen, ein Kontaktloch **11** vermittlels an sich bekannter Phototechnik- und Ätzschritte erzeugt. Daran anschließend wird ganz flächig eine Isolationsschicht **12** bestehend vorzugsweise aus Siliziumoxid abgeschieden und zur Entfernung des am Boden des Kontaktloches **11** liegenden Materials rückgeätzt. Im nächsten Schritt wird vermittlels einer weiteren Phototechnik die Isolationsschicht **12** strukturiert, d. h. mit Öffnungen **13** versehen, die in einem nachfolgenden anisotropen Trockenätzschritt auf die Schichten **4**, **5** und **7** abgebildet werden. Diese Ätzöffnungen ermöglichen das Eindringen der Ätzlösung in den nachfolgenden naß-chemischen Ätzschritten und damit durch isotope Ätzung der Schichten **5** und **6** die Bildung des Hohlraums **9**. Im Falle der Ätzung der niedrig dotierten Gebiete **5** und **6** eignet sich zu diesen Zweck beispielsweise eine KOH-Ätzlösung, welche ausreichend selektiv gegenüber den hoch dotierten Gebieten **4**, **7**, und **1** ist, die nicht oder jedenfalls nicht nennenswert geätzt werden sollen.

Nach der Fertigung der Membran **7** innerhalb des Hohlraums **9** werden die nicht mehr benötigten Löcher **13** im Bereich der aus der Isolationsschicht **12** gebildeten Abdeckung mit einem Oxid oder Borphosphorsilikatglas (BPSG) abgedeckt und verschlossen. An einer geeigneten Stelle wird ein weiteres Kontaktloch **14** geätzt und durch dieses ein metallischer Kontakt **15** auf die darunter liegende elektrisch leitende Schicht **4** geführt. Der Sensor kann jetzt bestimmungsgemäß durch die sich verändernden Kapazitäten zwischen der Membran **7** und der n^+ -dotierten Schicht **4** arbeiten.

In **Fig. 3** ist eine Draufsicht auf den Sensor dargestellt, wobei die gestrichelte Linie die äußeren Abmessungen anzeigt, die durch die Auflagerschicht **6** bestimmt werden. Die

Gegenlagerschicht **5** überdeckt zum einen den Randbereich der Membran **7** und zum Anderen den rechts unten dargestellten Fortsatz **16** der Membran **7**, in dem auch das Kontaktloch **11** angeordnet ist. In dem zentralen Bereich der Membran **7** sind die Ätzlöcher **13** angeordnet, die zum Durchleiten der Ätzflüssigkeit für die Erzeugung des Hohlraums in den die Membran **7** umgebenden Bereichen dient.

Fig. 4 zeigt eine weitere Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen mikromechanischen Halbleiteranordnung mit einer innerhalb eines Hohlraums ausgebildeten dünnen Membran **7**, bei der ausgehend von einem niedrig p -dotierten Siliziumgrundkörper **8** ein alternatives Dotierungsprofil mit hoch n^+ -dotierten Schichten **5** und **6** ausgebildet ist. Für die naß-chemische Ätzung der hoch dotierten Gebiete **5** und **6** eignet sich eine gegenüber der niedrig p -dotierten Schicht **7** der Membran selektive Ätzlösung bestehend aus beispielsweise $\text{HF-HNO}_3\text{-CH}_3\text{COOH}$.

Bezugszeichenliste

- 1 Halbleitersubstrat
- 2 Dotierungsprofil
- 3 Schichtoberfläche
- 4 Deckschicht
- 5 Gegenlager
- 6 Auflager
- 7 Membranschicht
- 8 Substrat
- 9 Hohlraum
- 11 Kontaktloch
- 12 Isolationsschicht
- 13 Öffnungen
- 14 Kontaktloch
- 15 metallischer Kontakt
- 16 Fortsatz
- d Gesamtstärke

Patentansprüche

1. Mikromechanische Halbleiteranordnung mit einer innerhalb eines Hohlraums (**9**) ausgebildeten Membran (**7**), **dadurch gekennzeichnet**, daß die Membran (**7**) durch eine kristalline Schicht innerhalb des Substrates (**1**) oder innerhalb einer auf einem Substrat (**1**) angeordneten epitaktischen Schichtenfolge der Halbleiteranordnung ausgebildet ist.
2. Halbleiteranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran (**7**) aus einer monokristallinen Silizium-Schicht gebildet ist.
3. Halbleiteranordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran (**7**) am Randbereich an einem Auflager (**6**) aufgelegt, und mit einer auf einem Gegenlager (**5**) abgestützten Deckschicht (**4**) überdeckt ist.
4. Halbleiteranordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Auflager (**6**) und das Gegenlager (**5**) einerseits und die Membran (**7**) andererseits aus Materialien mit unterschiedlichen Ätzraten gegenüber einem vorbestimmten naß-chemischen Ätzmittel gefertigt sind.
5. Halbleiteranordnung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Auflager (**6**) und das Gegenlager (**5**) einerseits und die Membran (**7**) andererseits aus unterschiedlich dotierten Materialien bestehen.
6. Halbleiteranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran (**7**) mit Ätzlöchern (**13**) versehen ist.

7. Halbleiteranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Auflager (6) bzw. das Gegenlager (5) im gesamten Umfangsbereich der Membran (7) vorgesehen ist.
8. Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Halbleiteranordnung, insbesondere einer mikroelektronischen integrierten Sensoranordnung, bei welcher innerhalb eines Hohlraums (9) eine Membran (7) ausgebildet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran (7) durch eine kristalline Schicht innerhalb des Substrates (1) oder innerhalb einer auf einem Substrat (1) angeordneten epitaktischen Schichtenfolge der Halbleiteranordnung ausgebildet wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran (7) aus einer monokristallinen Silizium-Schicht gebildet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran (7) am Randbereich an einem Auflager (6) aufgelegt, und mit einer auf einem Gegenlager (5) abgestützten Deckschicht (4) überdeckt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Auflager (6) und das Gegenlager (5) einerseits und die Membran (7) andererseits aus Materialien mit unterschiedlichen Ätzraten gegenüber einem vorbestimmten naß-chemischen Ätzmittel gefertigt werden.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialien für das Auflager (6) und das Gegenlager (5) einerseits und die Membran (7) andererseits unterschiedlich dotiert werden.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran (7) mit Ätzlöchern (13) versehen wird.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Auflager bzw. das Gegenlager (5) im gesamten Umfangsbereich der Membran (7) vorgesehen wird.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in einer aus kristallinen Einzelschichten bestehenden Schichtenfolge aufweisend eine Auflagerschicht (6), Membranschicht (7), und Gegenlagerschicht (5) ein Dotierungsprofil mit einer abwechselnden oder variierenden Dotierung von Auflagerschicht (6), Membranschicht (7) und Gegenlagerschicht (5) erzeugt wird, und die Auflagerschicht (6) und die Gegenlagerschicht (5) wenigstens bereichsweise mittels einem gegenüber der Membranschicht (7) selektiven Ätzmittel naß-chemisch geätzt werden.

Hierzu 2 Seiten(n) Zeichnungen

Fig 1

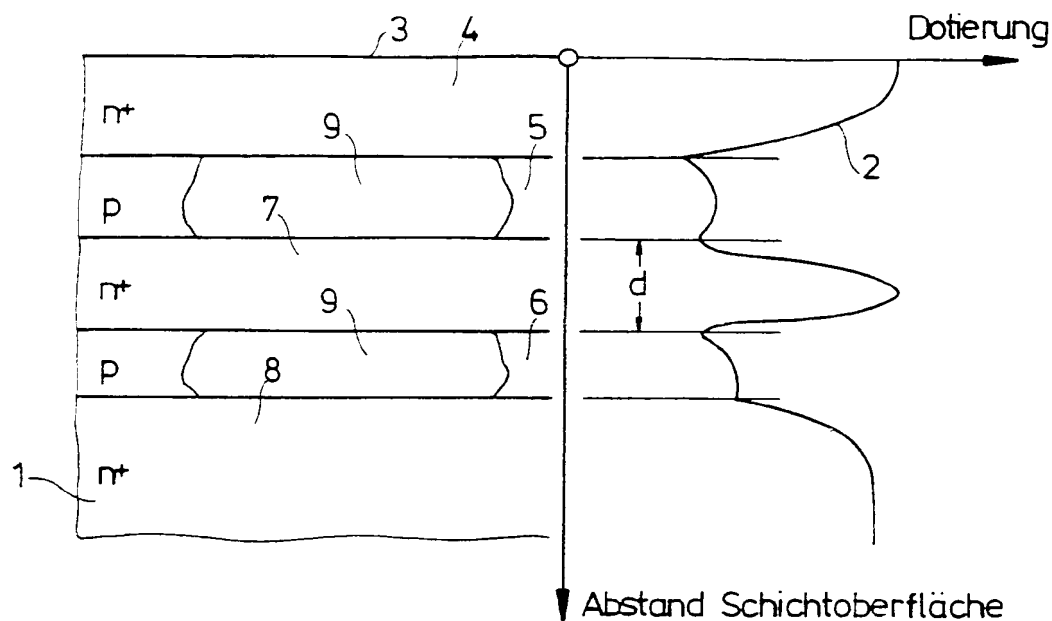


Fig 2

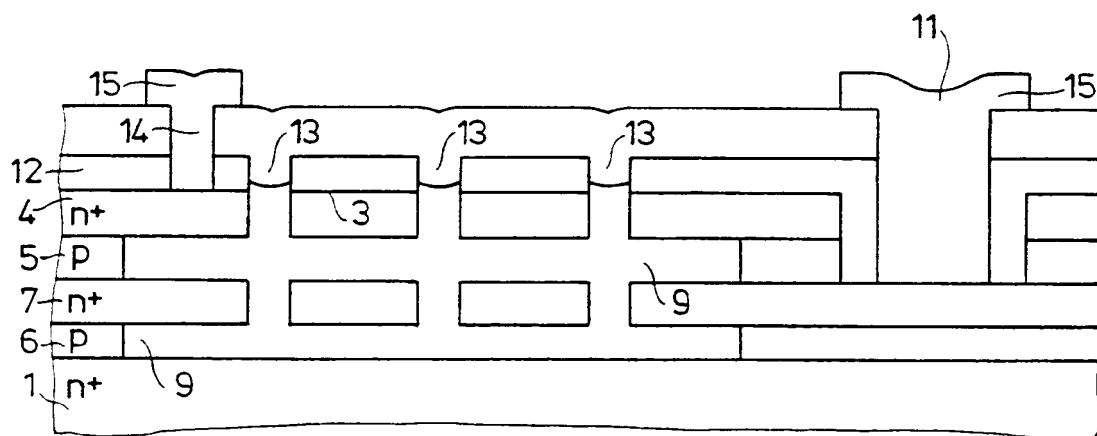


Fig 3

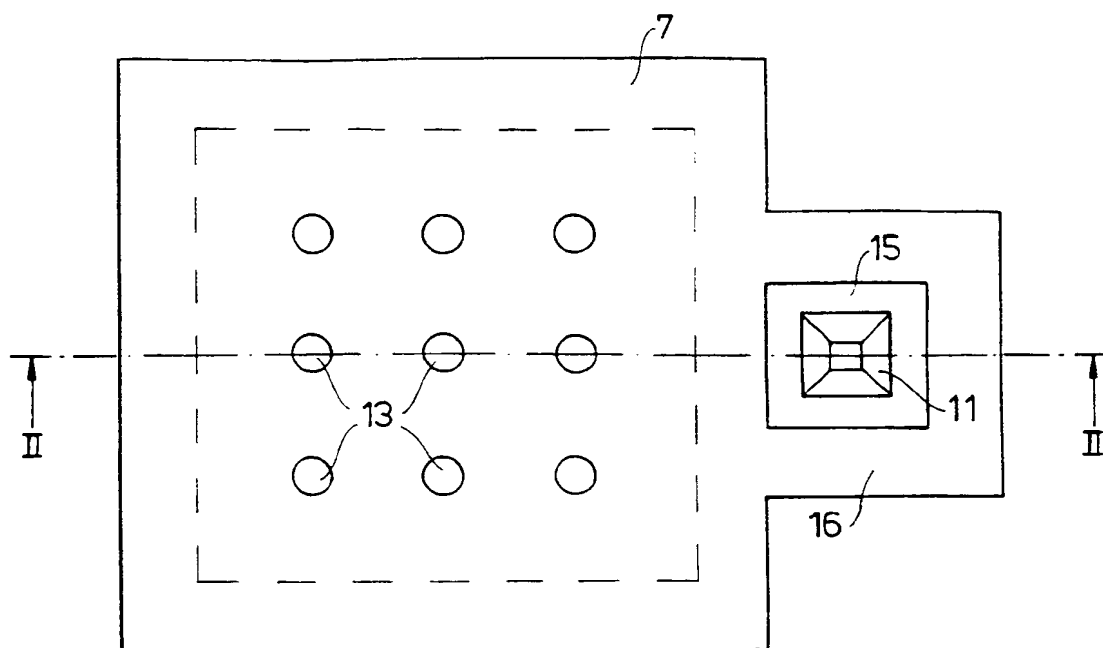


Fig 4

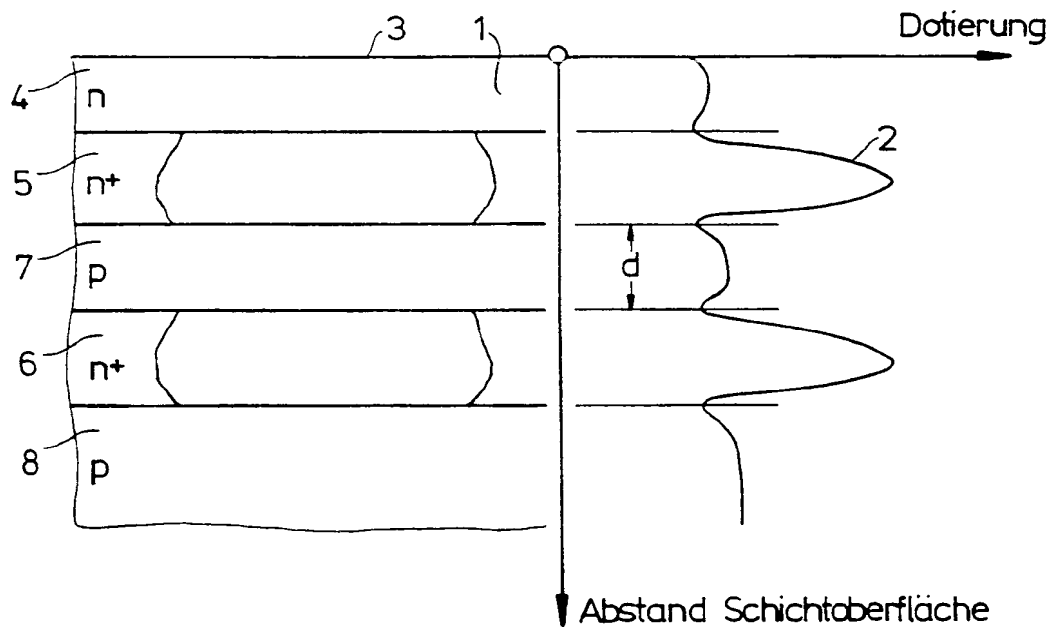


Fig 1

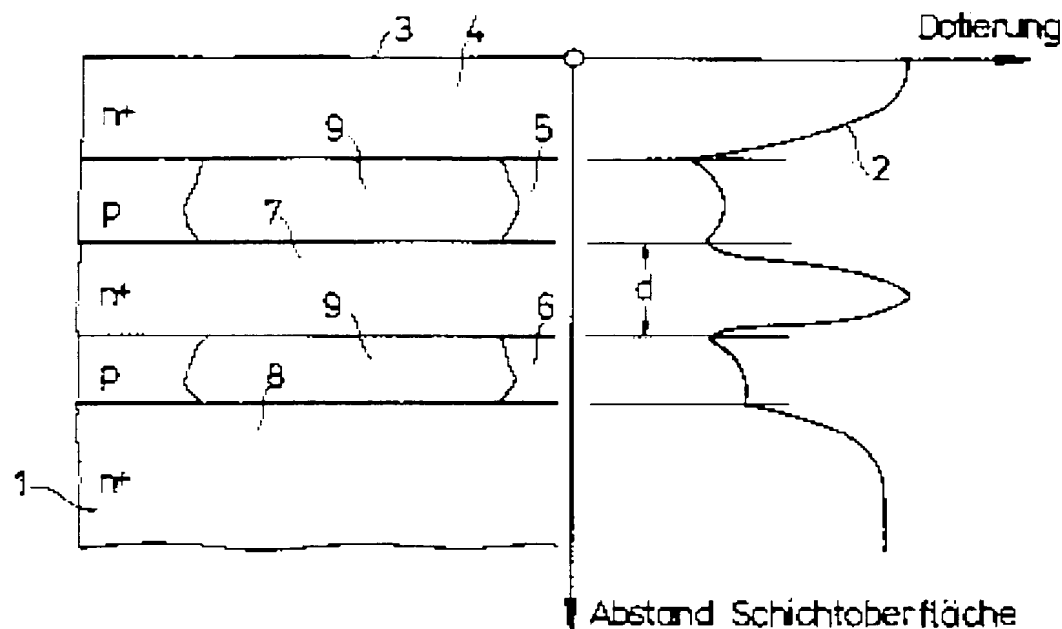


Fig 2

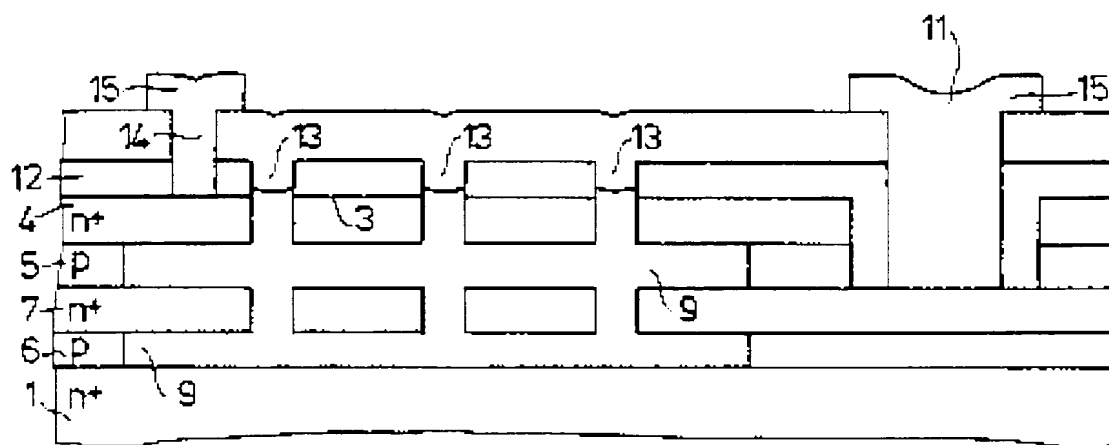


Fig 3

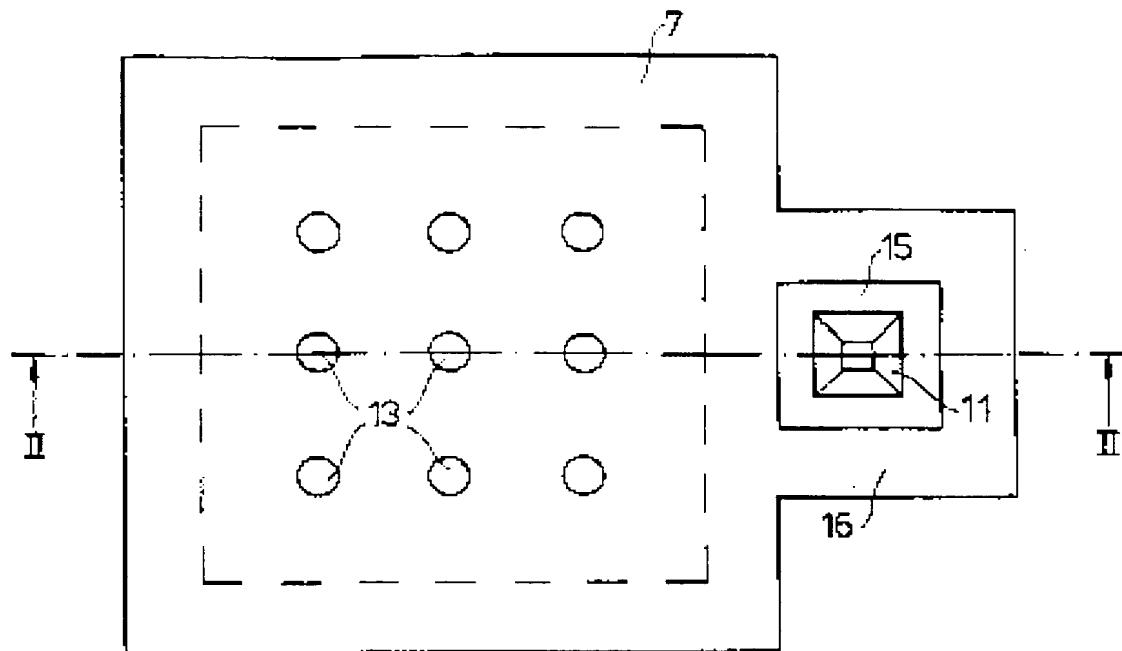


Fig 4

